

## 既往被害地震における橋梁の損傷と超過外力に対する課題

白戸 義孝<sup>1</sup>・佐藤 孝司<sup>2</sup>・今野 久志<sup>1</sup>・荒木 恒也<sup>1</sup>

<sup>1</sup>正会員 国立研究開発法人 土木研究所 寒地土木研究所  
(〒062-8602 北海道札幌市豊平区平岸1-3-1-34)

<sup>2</sup>正会員 国土交通省 北海道開発局 網走開発建設部 遠軽開発事務所  
(〒099-0404 北海道紋別郡遠軽町大通北7丁目)

### 1. はじめに

南海トラフの巨大地震、首都直下地震等、人口及び資産が集中する地域における大規模地震発生の切迫性が指摘され、これらの地震による被害の防止・軽減は、喫緊の課題となっている。また、2011年の東北地方太平洋沖地震や2016年の熊本地震の教訓の一つとして、従来の経験や想定を大きく超える規模の災害発生や、地震・津波・洪水などの複合災害に対する備えが不可欠となっている。本稿では、大規模地震に対する橋梁被害最小技術・早期復旧技術を構築するための基礎資料とすることを目的に、既往の大規模地震における橋梁の損傷状況を整理し、超過外力を想定した場合の課題を抽出した。

表-1 近年の主な被害地震

| 発生日          | 名称         | 規模     |
|--------------|------------|--------|
| 1995. 01. 17 | 兵庫県南部地震    | Mw6. 9 |
| 1999. 09. 21 | 台湾集集大地震    | Mw7. 7 |
| 2003. 09. 26 | 十勝沖地震      | Mw8. 0 |
| 2004. 10. 23 | 新潟県中越地震    | Mw6. 7 |
| 2004. 12. 26 | スマトラ島沖地震   | Mw9. 3 |
| 2007. 07. 16 | 新潟県中越沖地震   | Mw6. 6 |
| 2008. 05. 12 | 四川大地震      | Mw7. 9 |
| 2008. 06. 14 | 岩手・宮城内陸地震  | Mw7. 0 |
| 2011. 03. 11 | 東北地方太平洋沖地震 | Mw9. 0 |
| 2016. 04. 16 | 熊本地震       | Mw7. 0 |

### 2. 損傷事例の整理

橋梁における損傷事例は、1995年の兵庫県南部地震とそれ以降に生じた主要な被害地震として、表-1に示す地震<sup>1)</sup>を対象に整理した。着目する損傷部材は、上部構造・下部構造、基礎構造、支承周辺、落橋防止システムとし、桁橋・ラーメン橋を対象とした。

#### (1) 被害地震による損傷事例

被害地震における橋梁損傷の状況を、表-2及び図-1に示す。1995年の兵庫県南部地震では、図-1(a)に示すような橋脚のせん断破壊等による落橋が生じた。この地震以降耐震補強が精力的に進められ、補強した箇所の被害は比較的少なく、2016年の熊本地震を除けば、橋梁の機能を喪失した事例は確認されな

った。

しかし、支承周辺では、図-1(b)に示すように、支承単独ではレベル2地震動に耐えられない支承については、多くの地震で被害が生じている。また、図-1(c)に示すような桁衝突による橋台パラペットの損傷被害も見られる。

最近の東北地方太平洋沖地震や熊本地震では、レベル2地震動に耐えるとして設計されたゴム支承の破断(図-1(d))や、耐震補強として設置された制震ダンパーを取り付けた既設構造物側の取付箇所被害(図-1(e))が生じていることが特徴的である。熊本地震では、落橋防止ケーブルが破断される被害も生じている(図-1(f))。

一方、2011年の東北地方太平洋沖地震で発生した津波、1999年の集集地震以降に見られる断層変位やそれに伴う地盤変状、さらには想定する地震規模を超過する地震等、設計では想定していなかった事象

表-2 主な被害地震における橋梁の損傷例

| 被害地震       | 損傷例  |
|------------|--|
| 兵庫県南部地震    | <ul style="list-style-type: none"> <li>・地震発生当時までに想定されてきた被害程度をはるかに上回る激甚な被害.</li> <li>・設計で想定されていた地震力をはるかに上回る地震力の作用による被害.<br/>(図-1 (a) 橋脚のせん断破壊と落橋)</li> </ul>  |
| 台湾集集大地震    | <ul style="list-style-type: none"> <li>・断層変位, 断層運動に伴う地盤変位により生じた橋脚, 橋脚基部の破壊.</li> </ul>   |
| 十勝沖地震      | <ul style="list-style-type: none"> <li>・設計時の想定を上回る慣性力が発生.</li> <li>・主に RC 橋脚基部や支承本体, 支承のアンカー部の被害.</li> </ul>   |
| 新潟県中越地震    | <ul style="list-style-type: none"> <li>・支承や RC 橋脚 (段落とし部) の損傷や桁衝突の被害.<br/>(図-1 (b) 鋼製支承の破断, (c) パラペット部の損傷)</li> </ul>  |
| スマトラ島沖地震   | <ul style="list-style-type: none"> <li>・津波による上部構造の流出.</li> <li>・橋台と桁の衝突によるパラペット部の損傷.</li> </ul>  |
| 新潟県中越沖地震   | <ul style="list-style-type: none"> <li>・支承部の損傷, 二次部材の変形・破断, 地盤変状に伴う橋台の変位, 桁端部の接触により橋台パラペットの損傷, 橋台背面土の沈下等.</li> <li>・橋台背面地盤の変位変状に伴い, 橋台・ゴム支承に残留変位.</li> </ul>                                       |
| 四川大地震      | <ul style="list-style-type: none"> <li>・落橋や上下部構造結合部のせん断破壊.</li> <li>・小魚洞橋 (フレームアーチ橋) では, 断層変位による落橋.</li> </ul>   |
| 岩手・宮城内陸地震  | <ul style="list-style-type: none"> <li>・地盤変状に伴う橋脚・橋台の変位, 橋台背面土の沈下, 支承部や伸縮装置の損傷.</li> <li>・大規模な地すべり, 斜面崩壊などの地盤変状に伴う橋脚・橋台の大きな変位による著しい損傷.</li> </ul>  |
| 東北地方太平洋沖地震 | <ul style="list-style-type: none"> <li>・我が国で初めて津波による上部構造の流出.</li> <li>・地震時水平力分散ゴム支承の破断や制震ダンパー取付部の破壊等.<br/>(図-1 (d) ゴム支承の破断)</li> </ul>   |
| 熊本地震       | <ul style="list-style-type: none"> <li>・支承の破壊や破断に伴う上部構造の移動に伴う各部の破壊, 橋脚段落し部の損傷.</li> <li>・ロッキング橋脚を有する橋梁の落橋.</li> <li>・地震動や地盤変位により, 主に支承部に多数の被害.<br/>(図-1 (e) 制震ダンパーの破断, (f) 落橋防止ケーブルの破断)</li> </ul> |



(a) 橋脚のせん断破壊



(b) 鋼製支承の破断



(c) パラペット部の損傷



(d) ゴム支承の破断



(e) 制震ダンパー取付部の破壊



(f) 落橋防止ケーブルの破断

図-1 橋梁損傷の事例

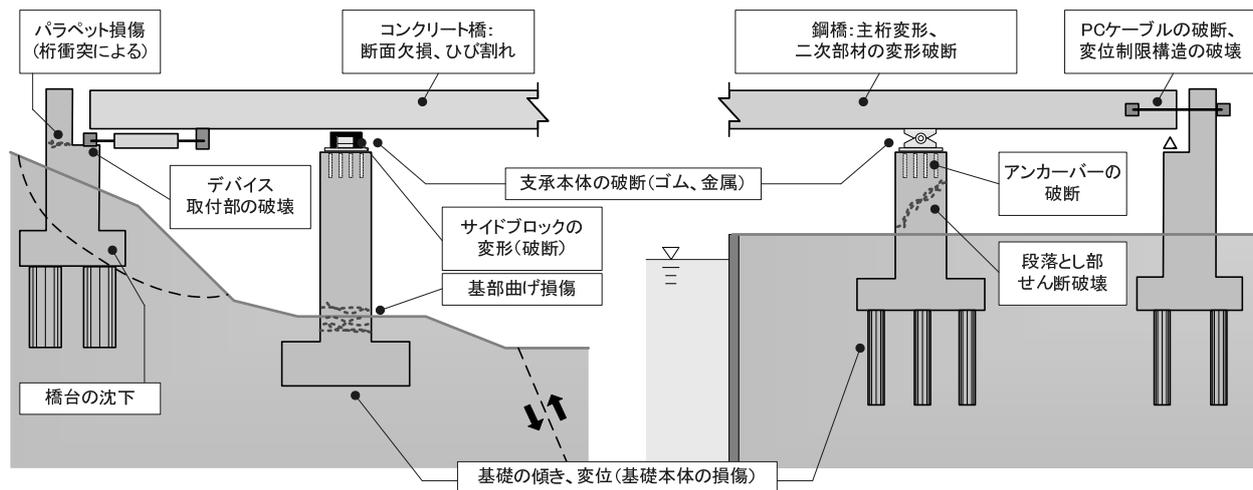


図-2 被害地震における橋梁の主な損傷

が発生した場合に、橋梁の流出・落橋等、橋梁の機能を喪失する被害が発生している。

## (2) 損傷事例の整理

損傷事例を元に、主な損傷を図-2のように整理した。上部構造の主な損傷は、鋼橋の場合には主桁変形や二次部材の変形破断、コンクリート橋の場合には桁端部の断面欠損や横桁のひび割れである。下部構造の主な損傷は、橋脚の場合には段落とし部のせん断破壊や基部の曲げ損傷、橋台の場合には沈下や桁衝突によるパラペット部の損傷である。基礎構造の主な損傷は、基礎の傾きや変位（基礎本体の損傷）である。支承周辺の主な損傷は、支承本体の破断、アンカーバーの破断、サイドブロックの変形（破断）、制震ダンパー等の耐震デバイスの取付部の破壊である。落橋防止システムの主な損傷は、PCケーブルの破断や変位制限構造の破壊である。

## 3. 現行設計における課題

### (1) 超過外力に対する課題の整理

損傷事例を整理した結果を踏まえ、従来の想定を超えるような外力（ここでは、超過外力とする。）が発生した場合の課題を図-3のように整理した。

まず、「既往の地震被害」において、橋梁の部位ごとの損傷状況を示す。これを受け、「超過外力に対する問題」において、現行設計による橋の各部位の損傷とそれによる被害状況を抽出した。そして、「課題」において、これらの深刻な被害を防止するため、超過外力によるこれらのような深刻な被害を

防止する上で想定される課題を示す。

現行設計法<sup>2)</sup>では、レベル2地震動に対して耐震性能を確保するが、これを超える地震に対しては、落橋防止システムで対応する規定となっている。

超過外力に対する橋の設計は、橋に損傷が生じることが前提となる。よって、損傷部位と損傷形態が橋の耐震性能に影響が少ないものとなるように、橋の設計体系を整理することが課題である。

### (2) 超過外力に対する橋の設計の基本的な考え方

現行設計法では、橋脚基部はレベル2地震動に対して曲げ損傷が生じることを想定している。この部位は、超過外力で想定する損傷部位の一つとなる。

また、既往地震において被害の多い支承周辺では、レベル2地震動における支承の耐荷力が設計上の限界状態に基づき、橋脚または基礎の水平耐力以上となるように設計される。

一方、2016年の熊本地震の事例では、支承の破断の有無により橋脚の損傷程度に違いが見られ、超過外力に対しては、落橋防止システムの設置を前提にすれば、支承破壊後の上部構造の大きな変形は抑止できるため、支承を壊して橋脚の損傷の進展を制御するという考えも否定できないと考えられる。

このことから、超過外力が発生した場合は、設計の考え方の一つとして、修復性の観点から復旧しやすい部材を積極的に損傷させ、それ以外の損傷が生じると想定される部材の損傷の進展を防ぐという方針を示すことができる（耐荷力の階層化）。復旧性を考慮すれば、橋脚基部に加えて、支承等も損傷箇所として想定することができると考えられる。

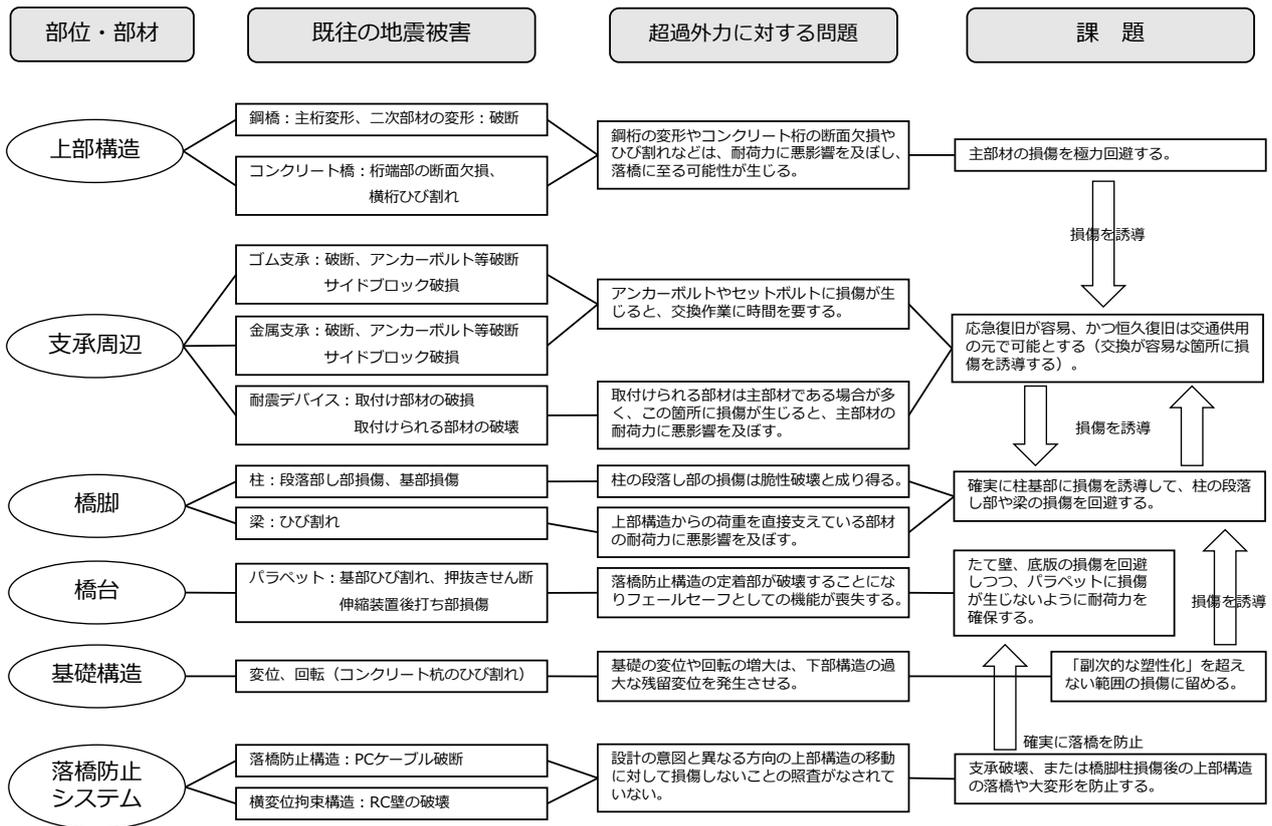


図-3 従来の想定を超えるような外力が発生した場合の課題

### (3) 超過外力に対する設計上の留意点

超過外力が発生した場合、損傷箇所を誘導するための耐力の階層化を行う上では、部材が保有する実際の終局状態に基づいた耐力の算定精度を向上させる必要がある。現行設計法でも、基礎は橋脚より耐力を高くすることが規定されている。超過外力に対する設計では、同様の規定を上部構造など他の部位にも適用することが必要であると考えられる。そのためには、確実に損傷を誘導するための耐力の制御技術とその信頼性の評価技術を確立する必要があるものと考えられる。

桁遊間は、レベル2地震動に対して設定されるため、これを超える地震が生じたときは、桁同士または桁と橋台の衝突によるパラペット部の破壊や落橋防止構造の取付部の損傷等の被害が生じると想定される。桁衝突は、2004年の新潟県中越地震において、橋脚の損傷の低減に寄与した可能性が指摘されており<sup>3)</sup>、上部構造の過大な変位を抑制し落橋を防ぐ効果が期待される。一方で、橋の耐震性能に望ましくない影響を与える要因にもなり得る。よって、超過外力に対しては、桁衝突の発生を前提とした上で、パラペットに設置した落橋防止構造が機能を失うなどの望ましくない被害を防止するような設計が必要

であると考えられる。

## 4. おわりに

既往の被害地震における橋梁の主な損傷状況、超過外力が発生した場合の設計上の問題点を整理し、超過外力を想定した場合の課題を確認することができた。今後、超過外力に対する損傷シナリオや設計シナリオについて、検討を行う予定である。

### 参考文献

- 1) たとえば、阪神・淡路大震災調査報告編集委員会：阪神・淡路大震災調査報告書，1996.12.
- 2) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説V耐震設計編，2012.
- 3) 幸左賢二・山口栄輝・猪熊康夫・田崎賢治：新潟県中越地震で被害を受けた橋梁構造物の調査と分析，第8回地震時保有耐力法に基づく橋梁構造の耐震設計に関するシンポジウム講演論文集，2005.2.